

3 相 PSK 信号における光子検出器の不完全性を考慮した量子準最適受信機の誤り率

情報科学科 下村 一仁

指導教員：白田 毅

1 はじめに

量子情報理論に基づく誤り率が最小となる受信機を量子最適受信機と呼ぶ。しかし現在の技術では実現が困難とされるため、量子最適受信機に近い性能を持ち構成が容易である量子準最適受信機の研究が行われてきた。まず、2 元コヒーレント状態信号に対する量子準最適受信機が提案され、それを多元コヒーレント状態信号に拡張した量子受信機 [1] が提案されている。2 元信号に関しては光子検出器の不完全性を考慮した誤り率が示されている [2] が、多元信号に対する受信機の解析においては、これまで光子検出器は理想的であると仮定されてきた。

本研究では、光子検出器が理想的でない場合、すなわち光子検出器の不完全性を考慮した場合について、3 相 PSK 信号に対する量子準最適受信機の誤り率の特性を示す。

2 3 相 PSK 信号に対する量子準最適受信機

3 相 PSK 信号に対する量子準最適受信機 [1] の構成について説明する。信号 $m (= 0, 1, 2)$ に対応する量子状態を $|\alpha_m\rangle = |\alpha e^{i\frac{2\pi}{3}m}\rangle$ とする。信号 $|\alpha_0\rangle, |\alpha_1\rangle$ を真空状態にするようなシフト作用素 $\hat{D}(-\alpha), \hat{D}(-\alpha e^{i\frac{2\pi}{3}})$ を用意する。まず、 $|\alpha_0\rangle$ を真空状態にするようなシフト作用素 $\hat{D}(-\alpha)$ を施す。ここで光子計数を行い光子が検出されなければ信号を 0 に決定する。もし光子が検出されれば $|\alpha_1\rangle$ を真空状態にするようなシフト作用素 $\hat{D}(-\alpha e^{i\frac{2\pi}{3}})$ を施す。光子計数を行い光子が検出されなければ信号を 1 に決定し、光子が検出された場合は信号を 2 に決定する。以上の操作で準最適な性能を示す量子受信機が構成される。

3 不完全性を考慮した 3 相 PSK 信号の誤り率

本研究では量子効率とデッドタイムについて考慮した場合の誤り率を考える。

量子効率とは入射光子に対して発生する電子の割合のことを言う。量子効率を考慮した場合、平均光子数の部分に影響があるため、そこに量子効率を乗じて誤り率を求める。

デッドタイムとは、光子検出器が光子を検出した際、次の光子が検出器へ入射されても光子を検出しない一定の時間のことを言う。3 相 PSK 信号についてデッドタイムが存在する場合、2 つ目のシフト作用素を施すときに、1 個目の光子を検出した時刻から一定時間のデッドタイムが発生するため、それを考慮した誤り率を求める必要がある。

光子を n 個検出したときの確率を $P(n|N_S)$ としたとき、デッドタイムを考慮した場合の 3 相 PSK 信号に対する量子準最適受信機の誤り率 P_e は次式のようになる。

$$P_e = \frac{2}{3}\epsilon_0 + \frac{1}{3}\epsilon_1 \quad (1)$$

$$\epsilon_0 = P(0|N_{S1}) \quad (2)$$

$$\epsilon_1 = \int_0^{T-T_d} P(0|\frac{t}{T}N_{S1})P(1|\frac{dt}{T}N_{S1})P(0|\frac{T-(t+T_d)}{T}N_{S2}) + \int_{T-T_d}^T P(0|\frac{t}{T}N_{S1})P(1|\frac{dt}{T}N_{S1}) \quad (3)$$

基本的な構成は理想的な状態に従うものとし、 N_{Si} は i 回目のシ

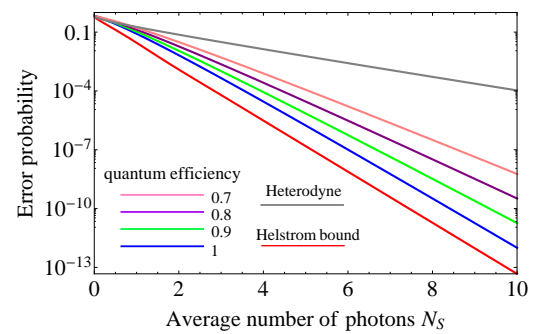


図 1 量子効率を考慮した誤り率

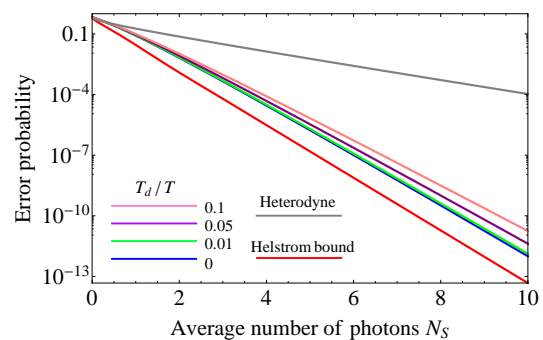


図 2 デッドタイムを考慮した誤り率

フト作用素を施したときの平均光子数、 t は 1 個目の光子を検出した時刻、 T_d はデッドタイム、 T は信号持続時間である。

4 誤り率特性

図 1 に量子効率を考慮した場合の誤り率、図 2 にデッドタイムを考慮した場合の 3 相 PSK 信号に対する量子準最適受信機の誤り率のグラフを示す。平均光子数が 0 付近では、誤り率に大きな変化が見られない。平均光子数が大きい範囲について、量子効率が 0.9 のときはそこまで大きくないが、0.7 のときには比較的大きな劣化が見られ、量子効率による影響が大きいものと分かる。デッドタイムについて割合を 0.1 まで増加した場合、誤り率の増加は見られるものの、平均光子数 10 までの範囲を見る限りでは、大きな劣化は無いものと考えられる。

5 まとめ

本研究では、光子検出器の不完全性を考慮した 3 相 PSK 信号に対する量子準最適受信機の誤り率を求めた。今後は、他の要因を考慮した場合についての誤り率を示すことや、古典最適受信機についても不完全性を考慮した誤り率を求めて比較をし、量子準最適受信機の優位性を示すことが望まれる。

参考文献

- [1] 山崎浩一, 信学技報 **IT94-17**, pp.49-54, (1994).
- [2] J.M. Geremia, Phys. Rev. **A70**, 062303, (2004).

公表論文

- 1) 下村一仁, 近藤隆司, 白田毅, 平成 26 年度電気・電子・情報関連学会東海支部連合大会, J1-1, (2014).